

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. April 2004 (01.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/027887 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 41/083**,  
41/047

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT** [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002730

(22) Internationales Anmeldedatum:  
13. August 2003 (13.08.2003)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHÜRZ, Willibald**  
[AT/DE]; Lindenweg 3, 93188 Pielenhofen (DE). **SIM-  
MET, Martin** [DE/DE]; Hebbelgring 44, 93077 Bad Ab-  
bach (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

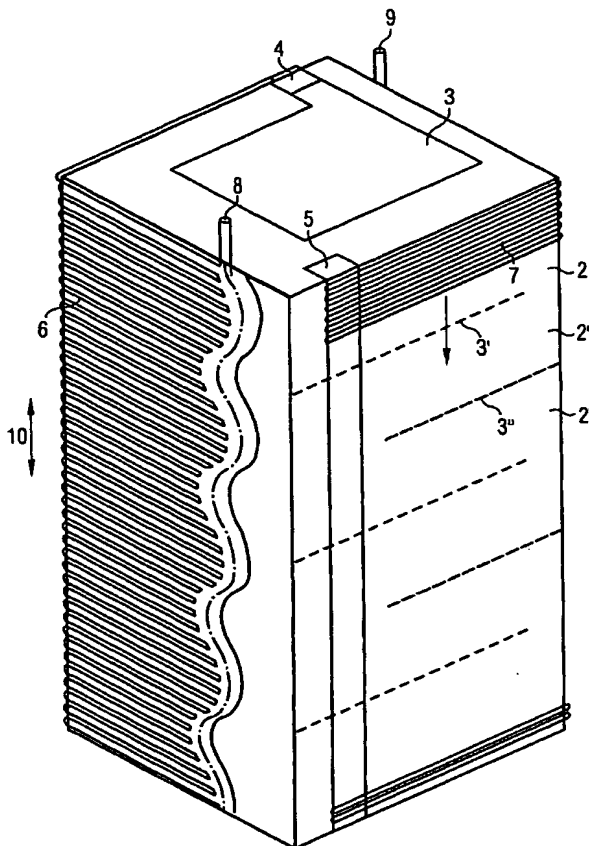
(30) Angaben zur Priorität:  
102 41 992.2 11. September 2002 (11.09.2002) DE

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **PIEZOELECTRIC ACTUATOR**

(54) Bezeichnung: **PIEZOELEKTRISCHER AKTOR**



(57) Abstract: The invention relates to a piezoelectric actuator (1) comprising a stack of a plurality of individual piezoelectric actuator elements (2, 2', 2'') which are arranged between inner electrodes (3, 3', 3''). Said piezoelectric actuator comprises a first metallisation strip (4) and a second metallisation strip (5), the inner electrodes (3, 3', 3'') being respectively connected to the first or second metallisation strips (4, 5) in an alternating manner. A first outer electrode (6) and a second outer electrode (7) are fixed to the first or the second metallisation strips (4, 5) in order to electrically contact the piezoelectric actuator (1). Said outer electrodes (6, 7) respectively comprise a connection element (8, 9) for externally contacting the piezoelectric actuator (1), and at least one region which is embodied in such a way that it compensates length variations of the piezoelectric actuator (1) in the main oscillation direction (10) as a result of its design and arrangement. The elastic deformation exclusively extends inside a plane which is parallel to the main oscillation direction (10).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Aktor (1) mit einem Stapel mehrerer, zwischen Innenelektroden (3, 3', 3'') angeordneten, einzelnen piezoelektrischen Aktorelementen (2, 2', 2''). Der piezoelektrische Aktor weist einen ersten Metallisierungsstreifen (4) und einen zweiten Metallisierungsstreifen (5) auf, wobei die Innenelektroden (3, 3', 3'') jeweils alternierend mit dem ersten beziehungsweise zweiten Metallisierungsstreifen (4, 5) verbunden sind. Zur elektrischen Kontaktierung des piezoelektrischen Aktors (1) ist eine erste Aussenelektrode (6) und eine zweite Aussenelektrode (7) an den ersten beziehungsweise an den zweiten Metallisierungsstreifen (4, 5) befestigt. Die Aussenelektroden (6, 7) weisen jeweils ein Anschlusselement (8, 9) zur Aussenkontaktierung des piezoelektrischen Aktors (1) auf. Die Aussenelektroden (6, 7)

umfassen mindestens einen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(81) **Bestimmungsstaaten** (*national*): JP, US.

(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

---

Bereich, der so ausgebildet ist, das er Längenänderungen des piezoelektrischen Aktors (1) in Hauptschwingungsrichtung (10) aufgrund seiner Formgebung und Anordnung ausgleicht. Wobei die elastische Verformung ausschliesslich innerhalb jeweils einer Ebene verläuft, die parallel zur Hauptschwingungsrichtung (10) liegt.

## Beschreibung

## Piezoelektrischer Aktor

- 5 Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Aktor nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Gattungsbildende piezoelektrische Aktoren werden häufig zur Ansteuerung von Einspritzventilen bei Kraftfahrzeugen verwendet.  
10 det.

Piezokeramiken haben die Eigenschaft sich beim Anlegen einer elektrischen Spannung, je nach Polarität der Spannung, auszu-  
dehnen beziehungsweise zusammenzuziehen. Dieser Effekt wird  
15 bei piezoelektrischen Aktoren ausgenutzt. Die nutzbare Längenausdehnung beträgt allerdings weniger als 2 Promille der Schichtdicke der Piezokeramik entlang der Hauptachse. Gleichzeitig steigt mit zunehmender Schichtdicke des Piezoelements die zum Ansprechen des Piezoelements erforderliche elektri-  
20 sche Spannung. Um die Spannung in Grenzen zu halten und gleichzeitig eine technisch sinnvolle Längenausdehnung zu erreichen werden üblicherweise mehrere Piezokeramiksichten übereinander angeordnet. Die einzelnen piezokeramischen Schichten, die nachfolgend als piezoelektrische Aktorelemente  
25 bezeichnet werden, sind zur Polarisierung beidseitig mit metallischen Innenelektroden versehen.

Aus der DE 196 48 545 A1 ist bereits ein piezoelektrischer Aktor bekannt, der zur elektrischen Kontaktierung der piezo-  
30 elektrischen Aktorelemente an seiner Außenseite zwei Metallisierungsstreifen aufweist. Die Innenelektroden sind jeweils alternierend mit einer der beiden Metallisierungsstreifen verbunden und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet. Hierzu sind die Außenelektroden mit Anschlussele-  
35 menten zur Außenkontaktierung des piezoelektrischer Aktor versehen.

Aufgrund der hohen dynamischen Belastung des piezoelektrischen Aktors kann es zu Rissen in der Keramik kommen. Hierdurch kann der Metallisierungsstreifen durchtrennt werden. An der Risskante führt dies zu Spannungsüberschlägen die zu einer Zerstörung des piezoelektrischen Aktors führen.

Die DE 196 48 545 A1 schlägt zur Vermeidung von Ausfällen des piezoelektrischen Aktors bei dynamischen Belastungen vor, zwischen den Metallisierungsstreifen und der Außenkontaktierung dreidimensional strukturierte, elektrisch leitende Elektroden vorzusehen, die über partielle Kontaktstellen mit den Metallisierungsstreifen verbunden sind und zwischen den Kontaktstellen dehnbar ausgebildet sind.

Aufgrund der zunehmend engeren Platzverhältnisse im Motorraum ist allerdings immer weniger Bauraum für die einzelnen Motor-komponenten vorhanden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen piezoelektrischen Aktor nach dem Oberbegriffs des Anspruchs 1 derart zu verbessern, dass bei minimalen Bauraumbedarf, auch bei hohen dynamischen Belastungen, eine sichere elektrische Kontaktierung gewährleistet wird.

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs. Vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Außenelektroden mindestens einen Bereich umfassen, der so ausgebildet ist, dass er Längenänderungen des piezoelektrischen Aktors in Hauptschwingungsrichtung aufgrund seiner Formgebung und Anordnung durch elastische Verformung ausgleicht. Wobei die elastische Verformung ausschließlich innerhalb jeweils einer Ebene verläuft, die parallel zur Hauptschwingungsrichtung liegt. Nachfolgend wird diese Ebene als Schwingungsebene bezeichnet.

Die Außenelektrode, die derart geformt ist, dass sie eine hohe elastische Verformung ermöglichen, gewährleistet dabei die zuverlässige und dauerhafte Kontaktierung des piezoelektrischen Aktors. Aufgrund der elastischen Verformung in jeweils einem Bereich ausschließlich innerhalb jeweils einer Ebene, die parallel zur Hauptschwingungsrichtung des piezoelektrischen Aktors verläuft, wird ein minimaler Bauraumbedarf erreicht.

Die Bereiche der Außenelektrode sind dabei vorzugsweise parallel, mit geringst möglichem Abstand, zu den jeweiligen Seitenwänden des piezoelektrischen Aktors angeordnet. Hierdurch ergibt sich eine besonders kompakte Bauform. Denkbar sind aber auch anders, parallel zur Hauptschwingungsrichtung, angeordnete Bereiche, beispielsweise bei halbkreisförmigen Außenelektroden, die den piezoelektrischen Aktor umschließen. Die Schwingungsebenen ergeben sich hierbei durch alle Ebenen, die den Halbkreis tangential berühren.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Außenelektrode ein kammartiges Profil mit Kontaktzinken aufweist. Die Kontaktzinken können zur Kontaktierung der Innenelektronen auf einfache Weise mit dem Metallisierungsstreifen, beispielsweise durch verlötet, elektrisch leitend verbunden werden. Zwischen den einzelnen Lötunkten ermöglicht das kammartige Profil eine große elastische Verformung. Selbstverständlich sind auch andere Profilformen denkbar, die eine hohe elastische Verformung in Hauptschwingungsrichtung ermöglichen, beispielsweise ein Sinus- oder Dreieckprofil.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand der schematischen Zeichnungen erläutert. Es zeigt:

Figur 1 einen piezoelektrischen Aktor mit elastisch verformbarer Außenelektrode,

Figur 2 eine Außenelektrode in ebener Darstellung,

Figur 3 eine gebogene Außenelektrode mit einseitig aufgetragener Klebstoffschicht,

Figur 4 eine gebogene Außenelektrode mit beidseitig aufgetragene Klebstoffschicht,

5 Figur 5 einen Schnitt durch einen piezoelektrischen Aktor mit aufgeklebter Außenelektrode.

Elemente gleicher Konstruktion und Funktion sind figurübergreifend mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

10

Figur 1 zeigt einen piezoelektrischen Aktor 1, mit einem Stapel mehrerer zwischen Innenelektroden 3, 3', 3'' angeordneter, einzelner piezoelektrischer Aktorelemente 2, 2', 2''. Die Innenelektroden 3, 3', 3'' sind wechselseitig aus dem Stapel  
15 herausgeführt und elektrisch parallel geschaltet. Hierzu ist auf der Außenseite des piezoelektrischen Aktors 1 ein erster Metallisierungstreifen 4 und ein zweiter Metallisierungstreifen 5 aufgebracht. Die Innenelektroden 3, 3', 3'' sind jeweils alternierend mit dem ersten beziehungsweise dem zweiten Metallisierungstreifen 4, 5 verbunden. Eine erste Außenelektrode 6 und eine zweite Außenelektrode 7 sind zur elektrischen Kontaktierung des piezoelektrischen Aktors an den  
20 ersten beziehungsweise zweiten Metallisierungstreifen 4, 5 vorzugsweise durch Löten befestigt. Zur Außenkontaktierung des piezoelektrischen Aktors 1 sind die Außenelektroden 6, 7 mit einem ersten Anschlusselement 8 und einem zweiten Anschlusselement 9 verbunden. Legt man an die Außenelektroden 6, 7 eine elektrische Spannung an, so dehnen sich die piezoelektrischen Aktorelemente je nach Polarität der Spannung in  
25 Feldrichtung aus, beziehungsweise ziehen sich zusammen. Bei wechselnder Polarität führt der piezoelektrische Aktor somit eine Hauptschwingung in Feldrichtung aus.

30

Die Außenelektroden 6, 7 sind vorzugsweise als kammartige  
35 Formteile ausgebildet und derart auf den piezoelektrischen Aktor 1 aufgebracht, dass sie in Hauptschwingungsrichtung 10, des piezoelektrischen Aktors 1, ihre größte Elastizität auf-

weisen. In der Figur sind die Formteile 6, 7 zur besseren mechanischen Fixierung derart gebogen, dass sie jeweils an zwei Seitenflächen des piezoelektrischen Aktors 1 befestigt sind.

5 Figur 2 zeigt eine Außenelektrode 6 in Form eines Kammformteil in ebener Darstellung. Die elektrische Kontaktierung der Außenelektrode 6 erfolgt über ein Anschlusselement 8. Das Anschlusselement 8 ist dazu mit einem mäanderförmigen Bereich 16, der Außenelektrode 6 verbunden. Der mäanderförmige Bereich 16 ist als Leiterplatine ausgebildet, von dem einzelne, parallel zueinander verlaufende, Kontaktzinken 11 wegführen. Durch die mäanderförmige Ausgestaltung der Leiterplatte erreicht man in diesem Bereich eine hohe Elastizität. Die Kontaktzinken 11 bilden ein gerades Ende 12. Die Kontaktzinken 11 werden zur elektrischen Kontaktierung der Innenelektronen 3, 3'', im Bereich des geraden Endes 12, an den Metallisierungstreifen 4, vorzugsweise durch Löten, befestigt.

Der Strom wird über das Anschlusselement 8 in den mäanderförmigen Teil 16, der Außenelektrode 6 eingeleitet und fließt, über die einzelnen Kontaktzinken 11 und die Metallisierungszone 4, 5 zu den Innenelektronen 3, 3''. An der Kontaktstelle zwischen dem mäanderförmigen Teil 16, der Außenelektrode 6 und dem Anschlusselement 8 wird der gesamte Strom in die Außenelektrode 6 eingeleitet. Aus diesem Grund weist der mäanderförmigen Teil 16 an dieser Stelle einen größeren Querschnitt auf. Da der Stromfluss im mäanderförmigen Teil 16, der Außenelektrode 6 entlang der Mittelachse 18 mit zunehmender Entfernung vom Anschlusselement 8 kontinuierlich abnimmt, verjüngt sich der Querschnitt des mäanderförmigen Teils 16 vorzugsweise entlang seiner Mittelachse 18. Durch die verjüngende Form des mäanderförmigen Teils 16 der Außenelektrode 6 erhöht man die Elastizität in diesem Bereich zusätzlich.

35 Die Außenelektrode 6 kann vorzugsweise aus einer Bronzelegierung (z.B. CuSn6) in Ätztechnik hergestellt werden.

Figur 3 zeigt einen Schnitt durch die Außenelektrode 6. Die Außenelektrode 6 ist mittels Klebstoff 14 mechanisch am piezoelektrischen Aktor 1 befestigt. Vorzugsweise wird die Außenelektrode 6 zur Befestigung am piezoelektrischen Aktor 1, parallel zum ersten geraden Ende 12 der Kontaktzinken 11, um einen Winkel  $\alpha$  gebogen. Vorzugsweise beträgt der Winkel  $\alpha < 90^\circ$ . Hierdurch entsteht beim Anpressen der Außenelektrode 6 auf den rechtwinkligen piezoelektrischen Aktor 1 eine Federkraft, welche während des Klebevorgangs ein Anliegen der Kontaktzinken 11, der Außenelektrode 6 an den piezoelektrischen Aktor 1 sicherstellt. Die Kontaktzinken 11 werden in einem Bereich um das gerade Ende 12, zur elektrischen Kontaktierung an die Metallisierungszone 4 angelötet. Dieser Bereich wird beim Auftragen des Klebstoffes 14 ausgespart. Um ein flächiges Anliegen im Bereich des geraden Endes 12, der Kontaktzinken 11, am Metallisierungstreifen 4 zu gewährleisten, ist ein zusätzlicher Absatz 20 vorgesehen, der die Klebschicht 14 zwischen dem Formteil 6 und dem piezoelektrischen Aktor 1 ausgleicht.

Die Schichtdicke des Klebstoffs 14 wird durch den Zusatz von Partikeln mit vorgegebener Korngröße festgelegt. Der Klebstoff 14 ist derart ausgebildet, dass er eine elektrische Isolation zwischen der Außenelektrode 6 einerseits und den piezoelektrischen Aktorelementen 2, 2', 2'' sowie den Innenelektroden 3, 3', 3'' andererseits gewährleistet. Somit ist keine zusätzliche Isolationsschicht notwendig, wodurch der Bauraumbedarf weiter verringert wird. Der Klebstoff ist dauerelastisch ausgebildet, um auch während des Betriebs des piezoelektrischen Aktors 1, eine sichere Fixierung der Außenelektrode 6 zu gewährleisten.

Der Klebstoff 14 kann wie in Figur 3 dargestellt, einseitig auf der Innenseite des Formteils 6 oder beidseitig, wie in Figur 4 dargestellt, aufgetragen werden. Durch das beidseitige Auftragen des Klebstoffes 14 ergibt sich eine zusätzliche



Isolation der Außenelektrode 6 gegenüber der äußeren Umgebung.

In Figur 2-4 ist jeweils nur der Aufbau der ersten Außenelektrode 6 beschrieben. Die zweite Außenelektrode 7 ist jedoch identisch aufgebaut so das auf eine zusätzliche Beschreibung verzichtet wurde.

Figur 5 zeigt einen Schnitt durch den piezoelektrischen Aktor 1 mit den aufgeklebten Außenelektroden 6, 7. Der Schnitt liegt rechtwinklig zur Hauptschwingungsachse 10 des piezoelektrischen Aktors 1. Die jeweils geraden Abschnitte  $B_1$ - $B_8$  der ersten und zweiten Außenelektrode 6, 7 stellen jeweils einen Bereich der Außenelektroden da, der aufgrund seiner Formgebung und Anordnung, Längenänderungen des piezoelektrischen Aktors 1 durch elastische Verformung ausgleichen kann. Die elastische Verformung der jeweiligen Bereiche  $B_1$ - $B_8$  verläuft dabei jeweils innerhalb einer zur Bildebene Senkrechten Ebene, gekennzeichnet durch die jeweilige Strichpunktierte Linie, und parallel zur Hauptschwingungsrichtung 10.

Nach dem Aufkleben der Außenelektroden 6, 7 und dem Anlöten im Bereich des geraden Endes 12, 12' der Kontaktzinken 11, 11' ist der piezoelektrische Aktor 1 durchgehend mit einer Klebstoffschicht 22 versehen worden. Die durchgehende Klebstoffschicht 22 lässt sich beispielsweise durch einen Tauchprozess aufbringen. Hierdurch ist der piezoelektrische Aktor 1 elektrisch vollständig gegenüber der Umgebung abgeschirmt. Ein weiterer Vorteil dieser Ummantelung mittels Klebstoff besteht darin, dass bei Verwendung eines Kraftstoffresistenten Klebstoff der gesamte piezoelektrische Aktor 1 kraftstoffresistent hergestellt werden kann. Dies ist besonders vorteilhaft, da die Piezokeramik nur eine geringe Feuchtigkeitsbeständigkeit aufweist. Durch die geringe Feuchtigkeitsbeständigkeit kann Feuchtigkeit zu den Innenelektronen 3, 3', 3'' dringen, wodurch sich die dielektrischen Eigenschaften verschlechtern würden.

## Patentansprüche

## 1. Piezoelektrischer Aktor (1) mit

- einem Stapel mehrerer, zwischen Innenelektroden (3, 3', 3'') angeordneter, einzelner piezoelektrischer Aktorelemente (2, 2', 2''), die sich in Abhängigkeit von einer angelegten elektrischen Spannung, in einer Hauptschwingungsrichtung (10) zusammenziehen oder ausdehnen,
- einem ersten Metallisierungstreifen (4) und einem zweiten Metallisierungstreifen (5), wobei die Innenelektroden (3, 3', 3'') jeweils alternierend mit dem ersten beziehungsweise zweiten Metallisierungstreifen (4) (5) verbunden sind,
- einer ersten Außenelektrode (6) und einer zweiten Außenelektrode (7), die zur elektrischen Kontaktierung des piezoelektrischen Aktors (1), an dem ersten beziehungsweise an dem zweiten Metallisierungstreifen (4) (5) befestigt sind und
- einem ersten Anschlusselement (8) sowie einem zweiten Anschlusselement (9) zur Außenkontaktierung des piezoelektrischen Aktors (1), die jeweils mit der ersten beziehungsweise mit der zweiten Außenelektrode (6) (7) verbunden sind,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s

die Außenelektroden (6) (7) mindestens einen Bereich umfassen, der so ausgebildet ist, dass er Längenänderungen des piezoelektrischen Aktors (1) in Hauptschwingungsrichtung (10) aufgrund seiner Formgebung und Anordnung ausgleicht durch elastische Verformung ausschließlich innerhalb jeweils einer Ebene, die parallel zur Hauptschwingungsrichtung (10) verläuft.

## 2. Piezoelektrischer Aktor (1) nach Anspruch 1

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die Außenelektroden (6) (7) ein kammartiges Profil mit Kon-  
taktzinken (11) (11') zur Kontaktierung der Metallisierungs-  
streifen (4) (5) aufweisen.

5

3. Piezoelektrischer Aktor (1) nach Anspruch 2

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die Außenelektroden (6) (7) eine mäanderförmige Leiterplatine  
(16) (16') aufweisen, von der aus die Kontaktzinken (11)  
10 (11') wegführen.

4. Piezoelektrischer Aktor (1) nach Anspruch 2 oder 3

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die mäanderförmige Leiterplatte sich entlang ihrer Mittelach-  
15 se (18) (18') verjüngt.

5. Piezoelektrischer Aktor (1) nach Anspruch 2

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die Kontaktzinken (11) (11') zueinander parallel verlaufen  
20 und an einem ersten Ende (12) (12') alle die gleiche Länge  
aufweisen und die Kontaktzinken (11) (11') an diesem Ende  
(12) (12'), zur elektrischen Kontaktierung, an den Metalli-  
sierungsstreifen (4) (5) angelötet sind.

25 6. Piezoelektrischer Aktor (1) nach einem der Ansprüche 2 bis  
5

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die Außenelektroden (6) (7) zur Befestigung am piezoelektri-  
scher Aktor (1), parallel zum ersten, geraden Endbereich (12)  
30 (12') der Kontaktzinken (11) (11'), um einen Winkel  $\alpha < 90^\circ$   
gebogen sind.

7. Piezoelektrischer Aktor (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 6

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die Außenelektroden (6) (7) auf den piezoelektrischen Aktor  
(1), mittels eines Klebstoffs (14), mechanisch am piezoelektrischen Aktor (1) fixiert werden und die Kontaktzinken (11) (11') zum anlöten an die Metallisierungsstreifen (4) (5) beim Auftragen des Klebstoffes (14) ausgespart werden.

10 8. Piezoelektrischer Aktor (1) nach Anspruch 7

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
der Klebstoff (14) so ausgebildet und angeordnet ist, dass eine elektrische Isolation zwischen den Außenelektroden (6) (7) einerseits und den piezoelektrischen Aktorelementen (2, 2', 2'') sowie den Innenelektroden (3, 3', 3'') andererseits  
15 gewährleistet ist.

9. Piezoelektrischer Aktor (1) nach Anspruch 7 oder 8

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
20 die Schichtdicke des Klebstoffes (14) zwischen den Außenelektroden (6) (7) einerseits und den piezoelektrischen Aktorelementen (2, 2', 2'') sowie den Innenelektroden (3, 3', 3'') andererseits, durch den Zusatz von Partikeln mit vorgegebener Korngröße bestimmt ist.

25

10. Piezoelektrischer Aktor (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
der Klebstoff (14) kraftstoffresistent ist.

30

11. Piezoelektrischer Aktor (1) nach einem der vorigen Ansprüche

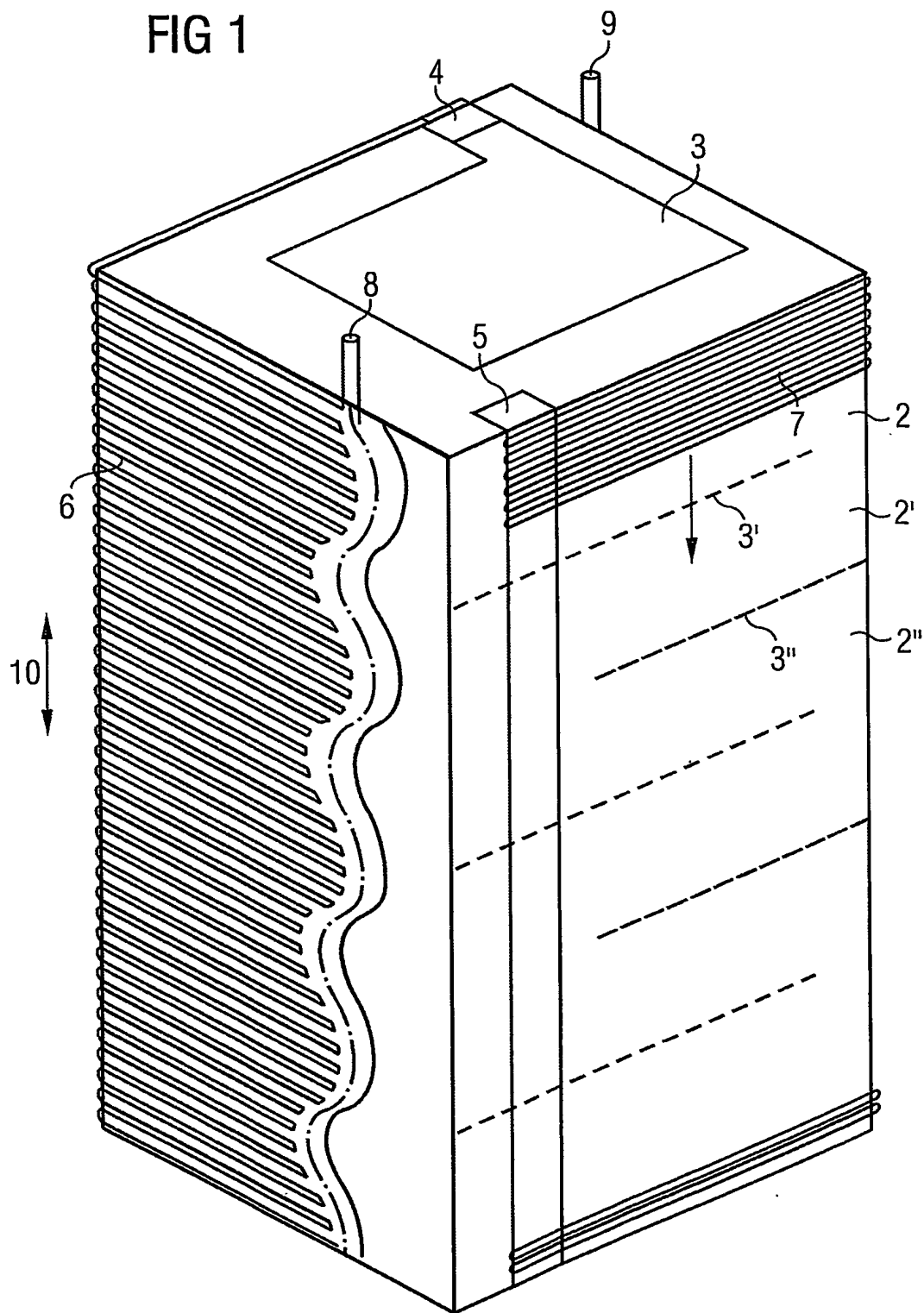
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s

der piezoelektrische Aktor (1) vollständig mit Klebstoff (14) ummantelt ist.

5 12. Piezoelektrischer Aktor (1) nach einem der vorigen Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die Außenelektroden (6) (7) aus einer Bronzelegierung durch Ätzen hergestellt sind.

FIG 1



2/4

FIG 2

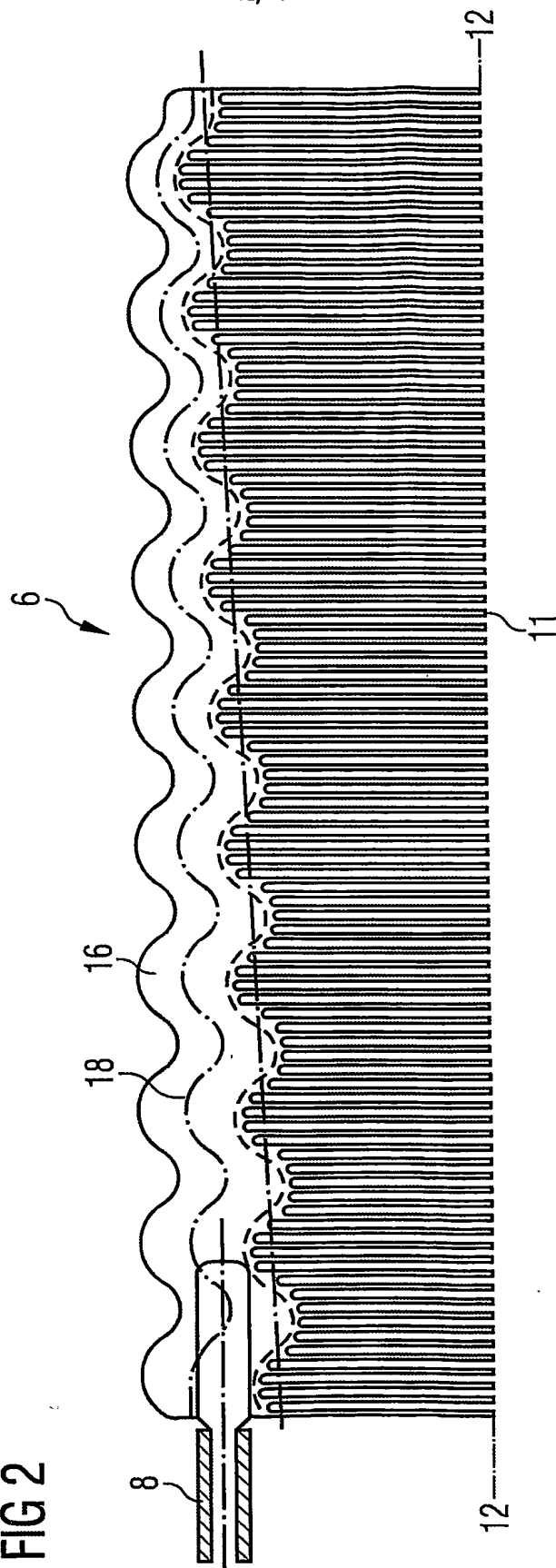


FIG 3

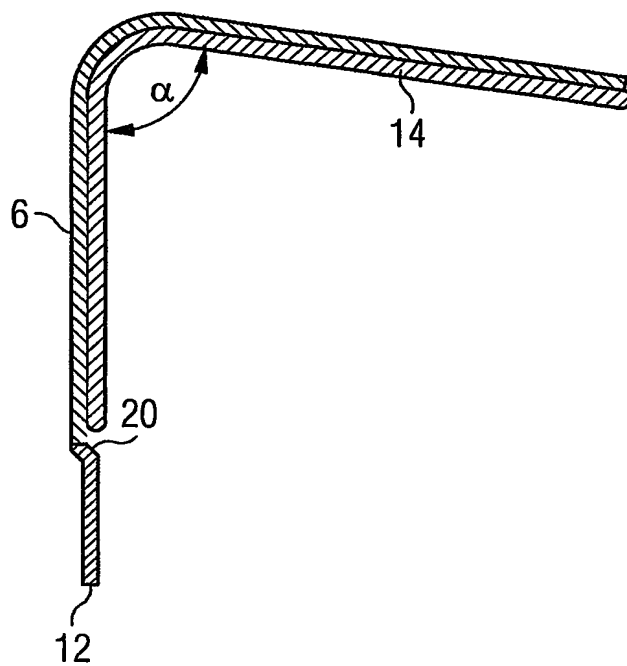


FIG 4

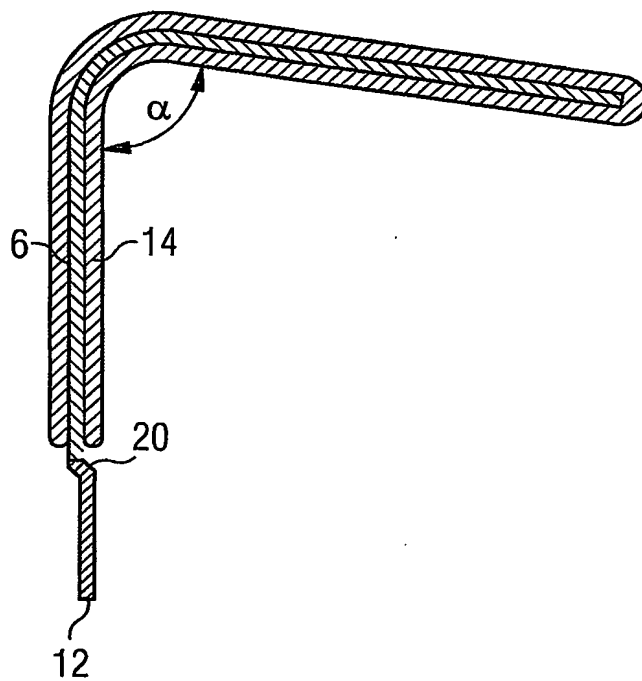




FIG 5

